ZEISS NACHRICHTEN

SONDERHEFT 3 4. APRIL 1938

Herausgeber: CARL ZEISS, JENA

Kommissionsverlag: GUSTAV FISCHER, JENA

ZEISS NACHRICHTEN

Für den Inhalt verantwortlich:
Prof. Dr. Dr. F. HAUSER VDI und L. MOHR, Jena, Zeisswerk

SONDERHEFT 3 — 4. APRIL 1938

Moritz von Rohr zum siebzigsten Geburtstag

M. v. Rohrs besondere Neigung zur Geschichtsforschung hat ihn für das Gebiet des photographischen Objektivs auch nach dem Abschluß seiner Hauptarbeit darüber, eben unseres Buches, im Laufe der Jahrzehnte noch vieles wiederfinden lassen, was sonst wohl verloren geblieben wäre. Das ist manchem von uns im inneren Betrieb des *Zeiss*-werkes zugute gekommen, wenn er mit einer vermeintlichen Neuheit auf dem Weg in die Patent-Abteilung zu Herrn Dönitz und später Herrn Dr. Riedinger zunächst bei Herrn von Rohr vorsprach. Da geschah es denn des öfteren, daß er einem dies und jenes zeigte, was in seinen handschriftlichen Nachträgen auf den eingeschossenen weißen Blättern seiner Bücher, gelegentlich sogar in oder zwischen den schon längst gedruckten Zeilen selbst stand, und was einem dann den Weiterweg zur Patentabteilung erleichterte oder ersparte.

Diese wertvolle Hilfe suchen und finden auch wir von der Photo-Abteilung noch heute bei Herrn von Rohr; denn obwohl er sich vor drei Jahren in den „Ruhestand" zurückgezogen hat, können wir ihn nach über 40 Jahren unablässiger und höchst ertragreicher Arbeit im *Zeiss*werk noch tagtäglich so frisch wie drei andere Siebziger dieses Jahres in der photographischen Wissenschaft, Roderich Luther in Dresden, Hans Harting in Berlin und L. E. W. van Albada in Bloemendaal in Holland, mitten in rastloser Tätigkeit bewundern.

Die grundlegenden Arbeiten von M. v. Rohr über den Verzeichnungsfehler und ihre Anwendung für photographische Objektive mit Vorder- oder Hinterblende

Von W. Merté, Jena

Schon in den frühesten optischen Abhandlungen von M. v. Rohr lassen sich die Wurzeln erkennen, aus denen der starke Baum seiner bisherigen Lebensarbeit sproß.

Geschichtliche Forschung und räumliche Anschauung, letztere bewußt sparsam vom Rüstzeug der Analysis unterstützt, ließen M. v. Rohr eine Reihe grundlegender Untersuchungen gelingen.

Beispielhaft sei nur erinnert an die meisterliche Abhandlung „Die beim beidäugigen Sehen durch optische Instrumente möglichen Formen

der Raumanschauung"[1])*) und an die v. Rohrschen Lehren über Strahlenbegrenzung, die verschiedenen Ortes entwickelt eine zusammenfassende Darstellung in der Centralzeitung für Optik und Mechanik[2]) fanden.

Hier wollen wir uns im wesentlichen auf zwei v. Rohrsche Arbeiten beziehen, die aus der Frühzeit seiner Tätigkeit auf optischem Gebiet stammen und bereits die oben genannten charakteristischen Merkmale seines Forschens tragen.

Es handelt sich um die in der Zeitschrift für Instrumentenkunde erschienenen beiden Aufsätze „Über die Bedingungen für die Verzeichnungsfreiheit optischer Instrumente mit besonderer Bezugnahme auf die bestehenden Typen photographischer Objektive"[3]) und „Beitrag zur Kenntnis der geschichtlichen Entwicklung der Ansichten über die Verzeichnungsfreiheit photographischer Objektive"[4]).

In ihnen stellt M. v. Rohr einen Ausdruck für die Verzeichnung auf, der einmal *abhängig* ist *von dem Verhältnis der Tangenten der ding- und bildseitigen Hauptstrahlneigungen gegen die Achse und ferner von den Pupillenaberrationen.* Er macht dabei die Annahme, daß die Durchstoßungspunkte bildseitiger Hauptstrahlen in der zu einer achsensenkrechten Dingebene konjugierten Bildebene als die Bilder der jenen Hauptstrahlen zugehörigen Dingpunkte betrachtet werden dürfen.

M. v. Rohr kommt damit zu einer erschöpfenden Darstellung der Verzeichnung drehungssymmetrischer Flächenfolgen, die alle hierher gehörigen Fragen zwanglos und sauber beantworten läßt.

Zu den Erfolgen forschender Tätigkeit gehört neben der Gewinnung neuer Erkenntnisse auch die Befruchtung der wissenschaftlichen Arbeit anderer. Die v. Rohrschen *Arbeiten über den Verzeichnungsfehler* sind in den etwa 4 Jahrzehnten seit ihrer ersten Veröffentlichung *grundlegend* geblieben. Spätere Untersuchungen anderer Autoren auf diesem Gebiete der geometrischen Optik gehen von den v. Rohrschen Entwicklungen aus und können diese nur ausbauen, nicht aber grundsätzlich Neues bringen.

Mit der endgültigen Klarstellung aller Fragen der Verzeichnung gelang es M. v. Rohr auch, manche Vorstellungen der Fachwelt zu berichtigen, so das Dogma, *„symmetrische Objektive seien verzeichnungsfrei im strengen Sinne".*

Eine andere Fehlmeinung trifft man aber auch heute noch in Fachkreisen, die nämlich, daß photographische Objektive stets bei Vorderblende tonnenförmig, bei Hinterblende kissenförmig verzeichneten. Daß es

*) Die hochgestellten Ziffern beziehen sich auf das am Ende der Abhandlung zusammengestellte Schrifttum.

photographische Objektive mit Vorder- oder Hinterblende geben kann, bei denen der Verzeichnungsfehler korrigiert ist, läßt sich in Anlehnung an die v. Rohrschen Überlegungen leicht zeigen.

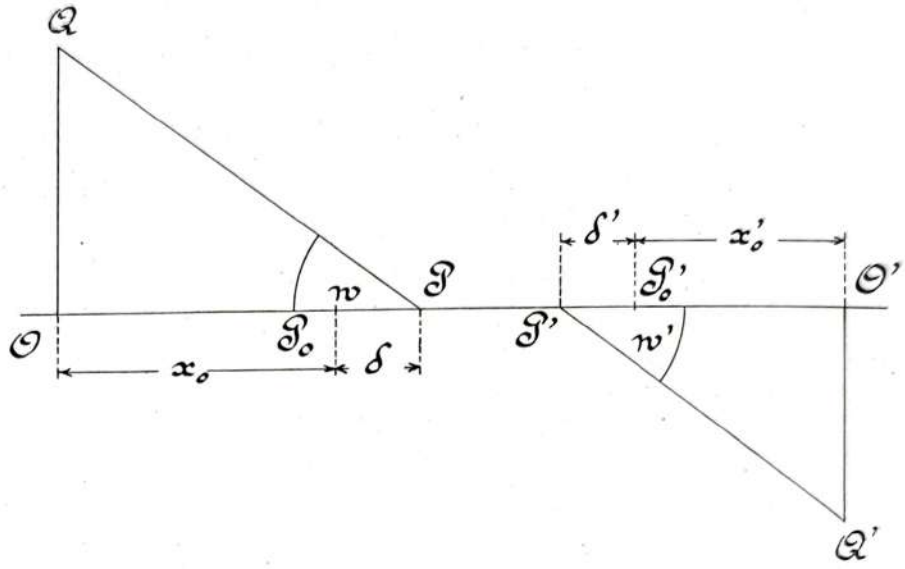


Abb. 1.

Schematischer Strahlengang zu der Definition der Verzeichnung.

In der schematischen Abb. 1 ist O ein Achsenpunkt und O′ sein Gaussisches Bild. P_O ist für achsennahe Hauptstrahlen die Eintrittspupille, P_O' die zugehörige Austrittspupille. Der von dem Punkt Q der Achsensenkrechten OQ ausgehende Hauptstrahl trifft dingseitig die Achse in P, mit ihr den Winkel w bildend, bildseitig in P′, unter dem Winkel w′ gegen die Achse geneigt. Der bildseitige Hauptstrahl trifft die Achsensenkrechte O′Q′ in Q′. Q′ ist dann nach der Annahme, die den v. Rohrschen Ableitungen zu Grunde liegt, das Bild von Q.

$\delta = P_O P$ und $\delta' = P_O' P'$ sind die Pupillenaberrationen. x_O ist der Abstand des Punktes O von P_O, x_O' der des Punktes O′ von P_O'.

Dann gilt für verzeichnungsfreie Objektive:

$$\frac{(x_O' + \delta') \cdot \operatorname{tang} w'}{(x_O + \delta) \cdot \operatorname{tang} w} = \text{const.} = \frac{1}{N} \qquad (1)$$

Im Regelfalle ist aber die linke Seite der Gleichung (1) eine Funktion von w, d. h. der Abbildungsmaßstab, der für $\lim w = 0$ mit N bezeichnet sei, variiert bei endlich ausgedehntem Bildfeld; die optische Anordnung hat also dann Verzeichnung.

Als Maß V der Verzeichnung*) bei der Hauptstrahlneigung w wird der Ausdruck

$$V = \frac{(x_0' + \delta') \cdot \tan w'}{(x_0 + \delta) \cdot \tan w} \cdot N - 1 \qquad (2)$$

verwandt, der z. B. für $N = \infty$ in

$$V_{N=\infty} = \frac{(x_0' + \delta') \cdot \tan w'}{f \cdot \tan w} - 1 \qquad (3)$$

übergeht, da ja dann $x_0 = N \cdot f$ wird, wenn f die Brennweite ist.

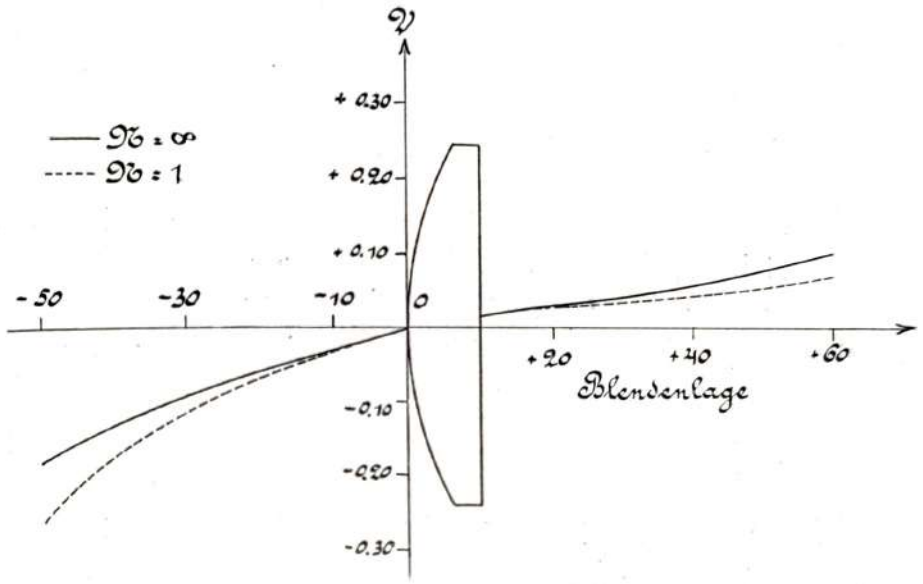


Abb. 2. Die ausgezogene Kurve gibt die Verzeichnung V für $N = \infty$, die gestrichelte Kurve gibt die Verzeichnung V für $N = 1$ in Abhängigkeit von den Blendenlagen, die vom vorderen Linsenscheitel aus gerechnet sind. Dabei ist vorausgesetzt, daß der Hauptstrahl beim Durchgang durch die jeweilige Blendenmitte mit der Achse stets einen Winkel von 20° einschließt. Die optischen Konstanten der Linse sind:

$$r_1 = 50 \quad r_2 = \infty \quad d = 10 \quad n = 1.5 \quad f = 100$$

Für diesen Fall $N = \infty$ und auch für den der Abbildung in natürlicher Größe, bei dem $N = 1$ ist, sind in Abb. 2 die beiden Kurven gezeichnet, die für verschiedene Blendenlagen die Verzeichnungswerte einer *einfachen plankonvexen Linse* angeben, wobei der Hauptstrahl durch die jeweilige Blendenmitte unter 20° gegen die Achse geneigt gehen soll. Man sieht, daß unsere Linse *bei Vorderblende immer tonnenförmige, bei Hinterblende immer kissenförmige Verzeichnung* hat.

Im übrigen kommt es ganz auf die Durchbiegung der Linse an, wie die Verzeichnung von der Blendenlage abhängt. Die beiden Kurven der Abb. 3 zeigen wieder für eine einfache Sammellinse, die aber nunmehr die Form eines Meniskus hat, für die Abbildungsmaßstäbe

*) In der praktischen Vermessungsarbeit werden die Verzeichnungsbeträge [5]) mitunter nicht von dem Grenzwert Null für lim $w = 0$ aus gerechnet.

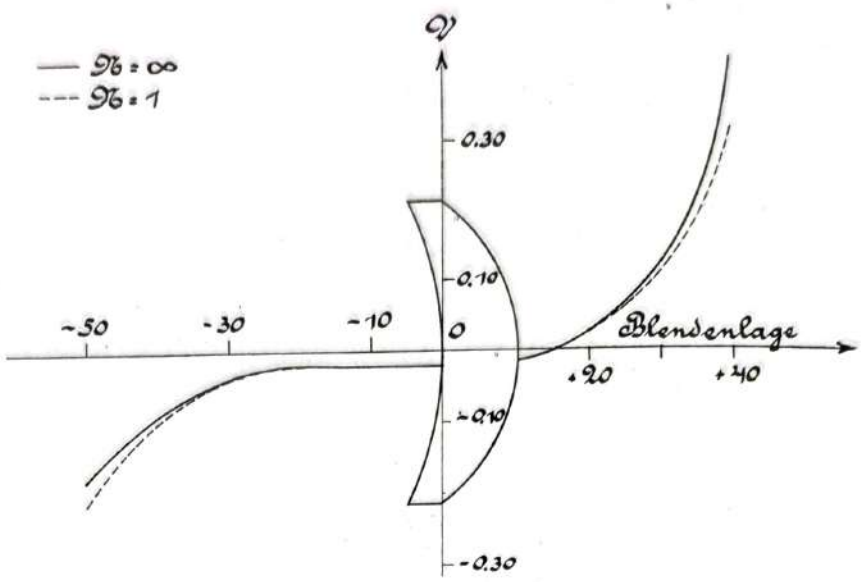


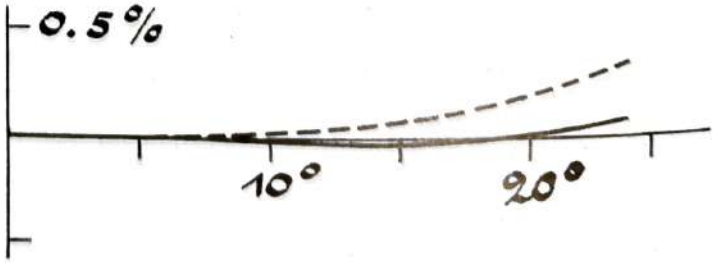
Abb. 3. Die ausgezogene Kurve gibt die Verzeichnung V für $N = \infty$, die gestrichelte Kurve gibt die Verzeichnung V für $N = 1$ in Abhängigkeit von den Blendenlagen, die vom vorderen Linsenscheitel aus gerechnet sind. Dabei ist vorausgesetzt, daß der Hauptstrahl beim Durchgang durch die jeweilige Blendenmitte mit der Achse stets einen Winkel von 20° einschließt. Die optischen Konstanten der Linse sind:

$$r_1 = -50 \quad r_2 = -26.667 \quad d = 10 \quad n = 1.5 \quad f = 100$$

$N = \infty$ und $N = 1$ und einen jeweiligen Hauptstrahlblendenwinkel von 20° die Verzeichnungswerte bei verschiedenen Blendenlagen. Diese *meniskenförmige Linse verzeichnet nicht nur für Vorderblenden tonnenförmig, sondern auch noch für Blenden, die unmittelbar hinter der Linse liegen.* Für einen Blendenabstand von je reichlich 5 mm vom hinteren Linsenscheitel ist die Verzeichnung für $N = 1$ bzw. $N = \infty$ korrigiert, um dann bei weiterem Abrücken der Hinterblende von der Linse sehr stark kissenförmig zu werden.

Unsere einfache Sammellinse der Abb. 3 hat bei der Blendenlage des für einen Hauptstrahlblendenwinkel von 20° gehobenen Verzeichnungsfehlers auch für andere Hauptstrahlneigungen nur ganz geringe Verzeichnungen. Das ersieht man aus den Verzeichnungskurven, die in Abb. 4 nach der von E. Wandersleb[6]) eingeführten Art dargestellt sind.

Abb. 4. Die ausgezogene Kurve gibt die Verzeichnung der Linse der Abb. 3 für $N = \infty$, die gestrichelte Kurve gibt die Verzeichnung der Linse der Abb. 3 für $N = 1$. Die Blendenlage ist in beiden Fällen 5.3 rechts vom erhabenen Linsenscheitel.



Als photographische Linsen werden natürlich im allgemeinen Flächenfolgen benutzt, die nicht nur aus einer einfachen Linse bestehen. Um für solche Lichtbildlinsen die Untersuchung der Verzeichnung möglichst einfach zu gestalten, beschränken wir uns hier auf den in der Photographie häufigsten Fall ferner Aufnahmegegenstände, nämlich auf $N = \infty$. Für endliche N läßt sich die Betrachtung analog, nur etwas unbequemer führen.

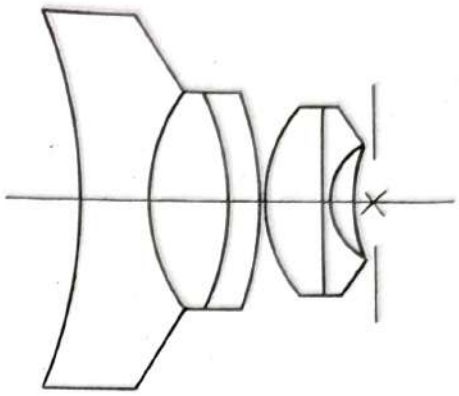


Abb. 5. Schematischer Achsenschnitt der photographischen Linse mit Hinterblende, deren optische Konstanten im Text mitgeteilt sind.

Die Beziehung (3), die nunmehr allein maßgebend für unsere weiteren Überlegungen ist, wird im Fall eines *Objektivs mit Hinterblende* besonders einfach, da ja dann δ' verschwindet.

(3) wird zu
$$V_{N=\infty} = \frac{x_0' \cdot \operatorname{tang} w'}{f \cdot \operatorname{tang} w} - 1, \tag{3a}$$

und als Bedingung der Verzeichnungsfreiheit ergibt sich
$$x_0' \cdot \operatorname{tang} w' = f \cdot \operatorname{tang} w, \tag{4}$$

was ja auch unmittelbar aus der Anschauung klar ist.

Wenn demnach das Tangentenverhältnis $\frac{\operatorname{tang} w'}{\operatorname{tang} w} = \frac{f}{x_0'}$ ist, wird *durch eine zentrierte Flächenfolge mit Hinterblende der unendlich ferne Punkt des dingseitigen Hauptstrahles*, der mit der Achse den Winkel w einschließt, in die Gaussische Brennebene *ohne Verzeichnung abgebildet.*

Durchprüft man nun bekannt gewordene verschiedene photographische Linsen mit Hinterblende z. B. mit Hilfe der in Band 1 des Handbuches der wissenschaftlichen und angewandten Photographie[7]) veröffentlichten Unterlagen, so zeigt sich, daß das Tangentenverhältnis $\frac{\operatorname{tang} w'}{\operatorname{tang} w}$ bei ihnen innerhalb des brauchbaren Bildfeldes mit zunehmendem w monoton wächst, also eine Korrektion der Verzeichnung für endliche Neigungswinkel w nicht vorhanden ist; denn nach (3a) wird für endliche w dann $V_{N=\infty} > 0$, d. h. es liegt kissenförmige Verzeichnung vor.

Zweifellos haben die Errechner solcher Lichtbildlinsen diese Verzeichnung hingenommen, da Doppelobjektive aus zwei derartigen Linsenfolgen symmetrisch oder hemisymmetrisch zu einer Mittelblende zusammengesetzt auch für ferne Aufnahmen meist genügend kleine Verzeichnungsfehler haben.

Trotzdem kann man die Forderung nach Korrektion der Verzeichnung für ein Objektiv mit Hinterblende erfüllen, wie die Linsenanordnung, deren Achsenschnitt in Abb. 5 zu sehen ist, beweist. Die dazugehörigen optischen Konstanten für die Brennweite $f_{n_d} = 100$ mm sind:

Radien in mm:	Dicken und Luftabstände in mm:	Glasarten:	
$r_1 = -\ 66.7$	$d_1 = 10.1$	$L_1\ n_d = 1.60817$	$\nu = 59.5$
$r_2 = +\ 25.3$	$d_2 = 10.9$	$L_2\ n_d = 1.49266$	$\nu = 69.7$
$r_3 = -\ 33.9$	$d_3 = 4.4$	$L_3\ n_d = 1.60817$	$\nu = 59.5$
$r_4 = -\ 43.3$	$l = 0.8$	$L_4\ n_d = 1.67047$	$\nu = 47.2$
$r_5 = +\ 20.2$	$d_4 = 8.1$	$L_5\ n_d = 1.54753$	$\nu = 45.9$
$r_6 = +\ 602.0$	$d_5 = 0.98$	$L_6\ n_d = 1.46654$	$\nu = 65.4$
$r_7 = +\ 8.74$	$d_6 = 3.3$		
$r_8 = +\ 21.5$	$b = 3.16$		

Für diese Lichtbildlinse ist die Abhängigkeit des $\frac{\text{tang w}'}{\text{tang w}}$ von w in Abb. 6 dargestellt und ihre Verzeichnungskurve selbst in Abb. 7. Der

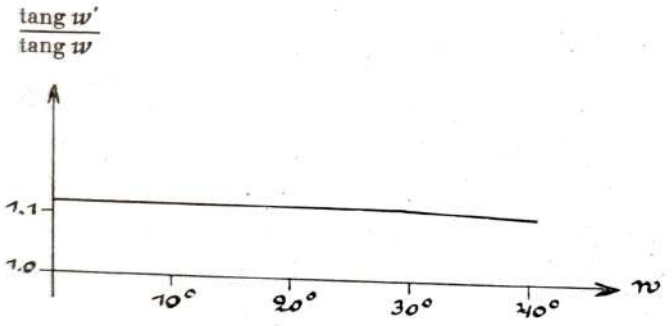


Abb. 6.
Die Kurve zeigt die Abhängigkeit des Verhältnisses $\frac{\text{tang w}'}{\text{tang w}}$ von w für die in Abb. 5 gezeigte Linse. Man sieht, daß $\frac{\text{tang w}'}{\text{tang w}}$ über das ganze brauchbare Bildfeld hin sich nur wenig ändert.

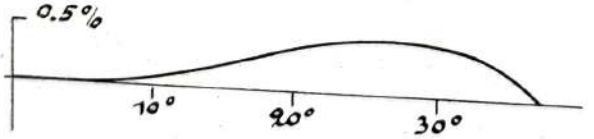
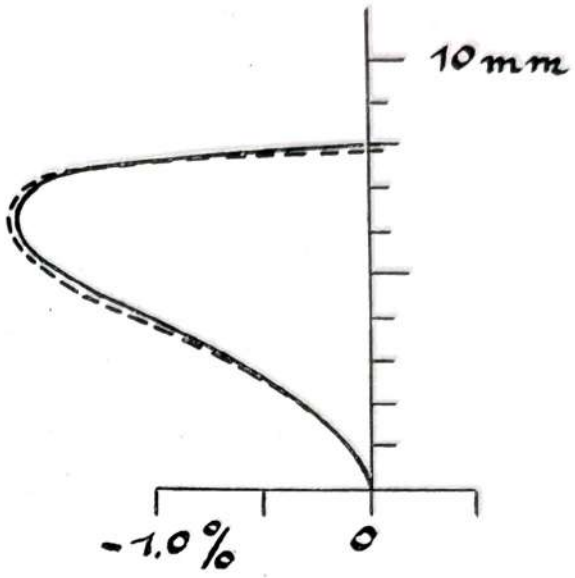


Abb. 7.
Verzeichnungskurve für $N = \infty$ der in Abb. 5 gezeigten Linse.

Verzeichnungsfehler dieses Objektivs mit Hinterblende ist also recht gut korrigiert; dabei brauchte die Hebung der übrigen Bildfehler durchaus nicht vernachlässigt zu werden. Die Abbildungen 8 und 9 auf S. 66 zeigen die Kurven der sphärischen Längsaberrationen und der Abweichungen von der Sinusbedingung sowie die Kurven der sagittalen und tangentialen Bildkrümmungen in der Darstellung, wie sie seit Erscheinen der von Rohrschen „Theorie und Geschichte des photographischen Objektivs"[8]) üblich ist.

Abb. 8. Die ausgezogene Kurve gibt sphärische Längsaberrationen, die gestrichelte Kurve gibt Abweichungen von der Sinusbedingung für den unendlich fernen Achsendingpunkt der in Abb. 5 gezeigten Linse.



Bei *photographischen Objektiven mit Vorderblende* hängt nach (3) die Verzeichnung nicht nur vom Tangentenverhältnis $\frac{\text{tang } w'}{\text{tang } w}$, sondern auch noch von $\frac{x_0' + \delta'}{f}$ ab.

Durchmustert man bekannt gewordene photographische Linsen mit Vorderblende, so läßt sich feststellen, daß der Ausdruck $\frac{x_0' + \delta'}{f}$ sich nur wenig mit dem Winkel w ändert, da δ' im Verhältnis zu dem konstanten x_0' immer klein bleibt. Hingegen variiert der Ausdruck $\frac{\text{tang } w'}{\text{tang } w}$ in der Regel mit w merklich, und zwar nimmt er mit wachsendem w ab. Die zu solchen $\frac{\text{tang } w'}{\text{tang } w}$-Werten gehörigen Objektive mit Vorderblende haben daher nach (3) eine negative oder tonnenförmige Verzeichnung.

Daß aber photographische Objektive guter optischer Leistung auch mit Vorderblende verzeichnungsfrei sein können, soll das in Abb. 10 im schematischen Achsenschnitt gezeigte Objektiv beweisen, eine Form des alten

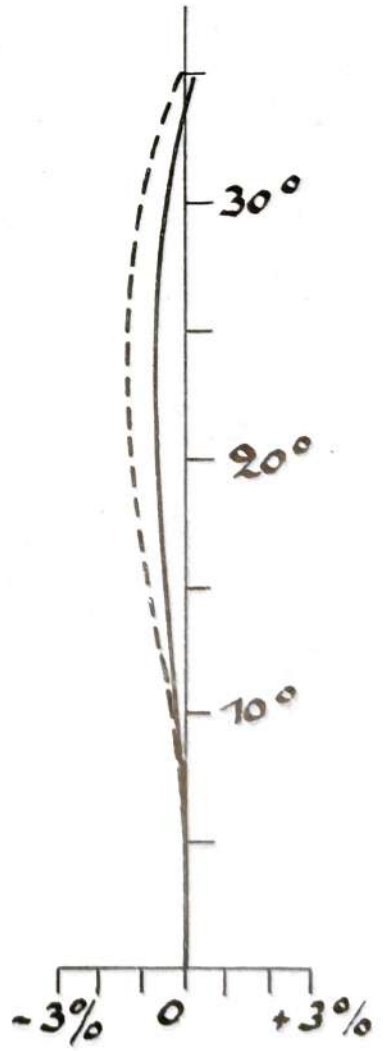
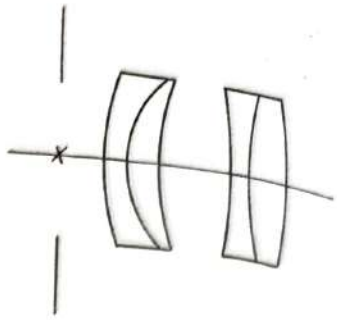


Abb. 9. Die ausgezogene Kurve gibt die sagittalen Bildkrümmungen, die gestrichelte Kurve die tangentialen Bildkrümmungen für ein unendlich fernes Ding, das durch die in Abb. 5 gezeigte Linse abgebildet wird.

Abb. 10. Schematischer Achsenschnitt der photographischen Linse mit Vorderblende, deren optische Konstanten im Text mitgeteilt sind.



Anastigmaten von P. Rudolph. Diese Linsenfolge, von ihrem Erfinder mit Mittelblende angegeben, ist auch mit Vorderblende gut brauchbar. Die dazugehörigen optischen Konstanten für die Brennweite $f_{nd} = 100$ mm sind:

Radien in mm:	Dicken und Luftabstände in mm:	Glasarten:	
$r_1 = +\ 9.2$	$b = 1.6$	$L_1\ n_d = 1.6151$	$\nu = 54.9$
$r_2 = +\ 4.1$	$d_1 = 0.9$	$L_2\ n_d = 1.5886$	$\nu = 61.0$
$r_3 = +\ 9.0$	$d_2 = 1.1$	$L_3\ n_d = 1.5321$	$\nu = 51.3$
$r_4 = -\ 17.0$	$l = 2.7$	$L_4\ n_d = 1.6123$	$\nu = 55.1$
$r_5 = +\ 13.2$	$d_3 = 0.7$		
$r_6 = -\ 18.2$	$d_4 = 1.5$		

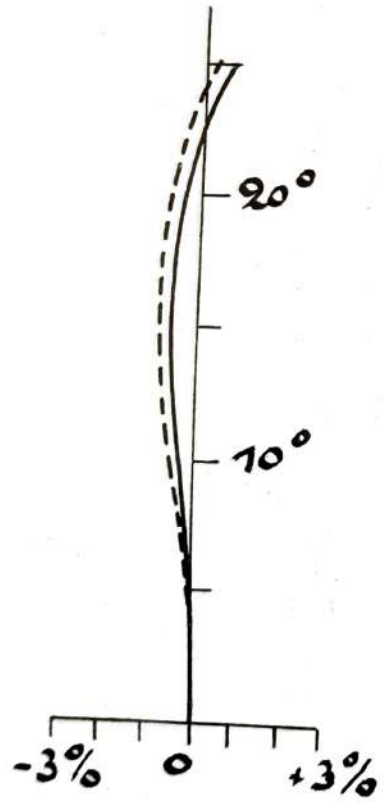


Abb. 11. Die ausgezogene Kurve gibt die sagittalen Bildkrümmungen, die gestrichelte Kurve die tangentialen Bildkrümmungen für ein unendlich fernes Ding, das durch die in Abb. 10 gezeigte Linse abgebildet wird.

In den Abbildungen 11 und 12 sind die von der Blendenlage abhängigen Bildfehler der tangentialen und sagittalen Bildkrümmungen und der Verzeichnung für ein unendlich fernes Ding dargestellt. Sie sind trotz der Vorderblende alle drei, insbesondere auch die Verzeichnung, vorzüglich korrigiert.

Zusammenfassend läßt sich sagen: *Photographische Linsen mit endlichem Bildfeld guter Schärfe haben bei Vorderblende im allgemeinen tonnenförmige Verzeichnung, bei Hinterblende kissenförmige. Diese bekannte Tatsache ist aber kein strenges Gesetz. Viel-*

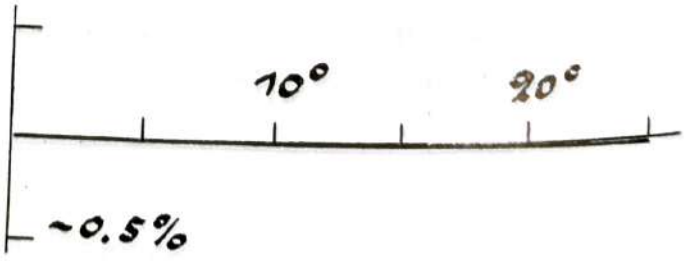


Abb. 12. Verzeichnungskurve für $N = \infty$ der in Abb. 10 gezeigten Linse.

mehr lassen sich scharf zeichnende Lichtbildlinsen mit brauchbar liegender Vorderblende oder auch solche Linsen mit brauchbar liegender Hinterblende errechnen, deren Verzeichnungsfehler gut korrigiert sind.

Schrifttumhinweise:

1) M. v. Rohr, Münchn. Sitz. Ber. **36**, S. 487—506. 1906.
2) M. v. Rohr, Centralztg. f. Opt. u. Mech. **41**, S. 145—150. S. 159—162. S. 171—174. 1920.
3) M. v. Rohr, ZS. f. Instrkde. **17**, S. 271—277. 1897.
4) M. v. Rohr, ZS. f. Instrkde. **18**, S. 4—12. 1898.
5) W. Merté, Ferienkurs in Photogrammetrie, herausgegeb. von O. v. Gruber bei *K. Wittwer*, Stuttgart 1930, S. 72—73.
6) E. Wandersleb, ZS. f. Instrkde. **27**, S. 33—37, S. 75—85. 1907.
7) W. Merté, Hdb. d. wiss. u. angew. Photographie, Bd. I, herausgegeb. von M. v. Rohr bei *J. Springer*, Wien 1932, S. 243—335.
8) M. v. Rohr, Theorie u. Geschichte des photographischen Objektivs, *J. Springer*, Berlin 1899, S. 436.

M. v. Rohr, ein Förderer der ophthalmologischen Optik

Von H. Hartinger, Jena

Von allen optischen Geräten ist das einfachste und für die Menschheit unentbehrlichste am spätesten wissenschaftlich behandelt und technisch vervollkommnet worden — *die Brille!* Mit der neuzeitlichen, optisch hochwertigen Brille ist aber der Name von Professor M. v. Rohr aufs engste verbunden. M. v. Rohr ist nicht nur die *Anlage und Berechnung einfacher und zusammengesetzter Brillen*, sondern auch eine *tiefgründige Theorie und zuverlässige Geschichte* dieses Sehhilfsmittels zu verdanken.

Die Arbeiten M. v. Rohrs auf dem Brillengebiet sind von zwei Männern richtunggebend beeinflußt worden, von Ernst Abbe und Allvar Gullstrand. Die von Abbe begründete Lehre von der Strahlenbegrenzung hat M. v. Rohr alsbald erweitert und ausgebaut. Seine Theorie der Perspektive, der Einstellebene, des Abbildes und des Abbildsbildes haben uns zum erstenmal klar gezeigt, wie räumlich ausgedehnte Dinge von optischen Geräten auf einer Ebene wiedergegeben werden. Im Jahre 1902 wurde dann M. v. Rohr durch den schwedischen Augenarzt A. Gullstrand auf die optische und physiologische Bedeutung des Augendrehpunkts hingewiesen. Unser Jubilar baute dem

Inhalt:

A. Köhler: M. v. Rohrs Arbeiten auf dem Gebiet der Mikroskopie S. 3
L. E. W. van Albada: M. v. Rohr und die Stereoskopie . . . . „ 11
Albert König: Einige Veröffentlichungen von M. v. Rohr . . . „ 16
H. Boegehold: M. v. Rohr als Geschichtsforscher und Geschichtsschreiber der Optik . . . . . „ 19
E. Wandersleb: Moritz von Rohr in der photographischen Optik „ 52
W. Merté: Die grundlegenden Arbeiten von M. v. Rohr über den Verzeichnungsfehler und ihre Anwendung für photographische Objektive mit Vorder- oder Hinterblende . . . . . „ 60
H. Hartinger: M. v. Rohr, ein Förderer der ophthalmologischen Optik . . . . . „ 69